

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2002-025997

(43)Date of publication of application : 25.01.2002

(51)Int.Cl.

H01L 21/31
C23C 14/50
C23C 16/46
F27B 5/18
F27D 19/00
H01L 21/205
H01L 21/22
H01L 21/316

(21)Application number : 2000-204592

(71)Applicant : TOKYO ELECTRON LTD

(22)Date of filing : 06.07.2000

(72)Inventor : SUZUKI FUJIO

O BUNRYO

SAKAMOTO KOICHI

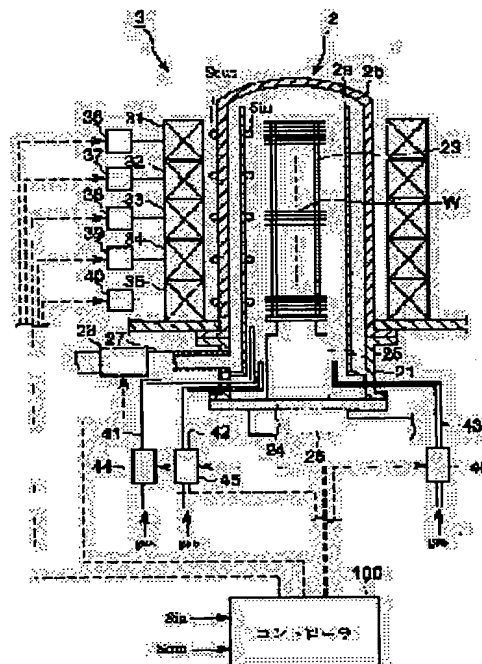
YASUHARA MOYURU

(54) BATCH TYPE HEAT TREATMENT EQUIPMENT AND ITS CONTROL METHOD

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide batch type heat treatment equipment which can appropriately cope with multi-kind small-scale production.

SOLUTION: A reaction chamber 2 is provided with a plurality of heaters 31-35 and a plurality of temperature sensors, and accommodates a wafer boat 23. A control section 100 estimates (calculates) the temperatures of wafers W placed on the wafer boat 23 in the chamber 2 in accordance with the number and arranged positions of the wafers W, and stores many mathematical models for finding outputs used for setting estimated temperatures to expected values and target temperature loci. When the wafer boat 23 is loaded in the reaction chamber 2, the control section 100 reads out the mathematical model and target temperature locus corresponding to the number and arranged positions of the wafers W placed on the board 23. When film formation is started, the section 100 estimates the temperatures of the wafers W in the chamber 2 by using the outputs of the temperature sensors S and the model, and separately controls the electric power supplied to the heaters 31-35 so that the estimated temperatures may be constricted to the target temperature locus.



LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

14.10.2003

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

3497450

[Date of registration]

28.11.2003

[Number of appeal against examiner's decision of

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2002-25997

(P2002-25997A)

(43) 公開日 平成14年1月25日 (2002.1.25)

(51) Int.Cl.⁷

識別記号

F I

テマコード^{*}(参考)

H 0 1 L 21/31

H 0 1 L 21/31

B 4 K 0 2 9

C 2 3 C 14/50

C 2 3 C 14/50

E 4 K 0 3 0

16/46

16/46

4 K 0 5 6

F 2 7 B 5/18

F 2 7 B 5/18

4 K 0 6 1

F 2 7 D 19/00

F 2 7 D 19/00

A 5 F 0 4 5

審査請求 未請求 請求項の数 8 O L (全 9 頁) 最終頁に続く

(21) 出願番号

特願2000-204592(P2000-204592)

(22) 出願日

平成12年7月6日(2000.7.6)

(71) 出願人 000219967

東京エレクトロン株式会社

東京都港区赤坂5丁目3番6号

(72) 発明者 鈴木 富士雄

神奈川県津久井郡城山町1丁目2番41号

東京エレクトロン東北株式会社相模事業所

内

(72) 発明者 王 文凌

神奈川県津久井郡城山町1丁目2番41号

東京エレクトロン東北株式会社相模事業所

内

(74) 代理人 100095407

弁理士 木村 満

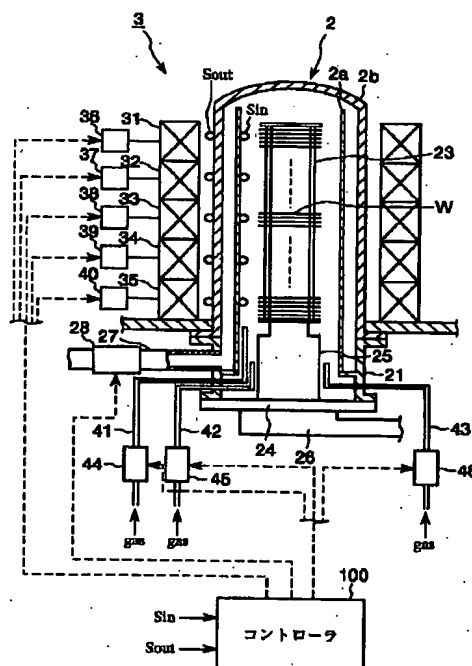
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 パッチ式熱処理装置及びその制御方法

(57) 【要約】

【課題】 多品種少量生産にも適切に対応できるパッチ式熱処理装置を提供する。

【解決手段】 反応管2は、複数のヒータ31～35と、複数の温度センサとを備え、内部にウエハポート23を収容する。制御部100は、ウエハポート23に載置されたウエハWの枚数と配置位置とに応じて、反応管2内のウエハWの温度を推定(計算)し、推定した温度を期待値に設定するための出力を求める数学モデルと、目標温度軌道とを、多数記憶している。ウエハポート23が反応管2にロードされると、載置されたウエハWの枚数と配置位置とに対応する数学モデルと目標温度軌道とが読み出される。成膜処理を開始すると、温度センサSの出力とモデルとを使用して、反応管2内のウエハWの温度を推定し、推定した温度が目標温度軌道に収束するように、ヒータ31～35に供給する電力を個別に制御する。



【特許請求の範囲】

【請求項 1】複数のヒータと、複数の温度センサとを備え、内部に被処理体を収容する加熱炉と、前記温度センサの出力から、前記加熱炉内の被処理体の温度を推定するためのモデルを、被処理体の処理枚数及び配置に応じて、複数記憶するメモリと、前記メモリに記憶されている複数のモデルのうち、前記加熱炉内に収容されている被処理体の処理枚数及び配置に対応するモデルに基づいて、前記温度センサの出力から前記被処理体の温度を推定し、この推定に従って、前記複数のヒータを制御する制御手段と、を備える、ことを特徴とするバッチ式熱処理装置。

【請求項 2】前記モデルは、推定した被処理体の温度を目標値に近づけるために、ヒータを制御するためのモデルを含む、ことを特徴とする請求項 1 に記載のバッチ式熱処理装置。

【請求項 3】前記モデルは、温度帯域毎に設定されており、前記制御手段は、被処理体の温度に応じたモデルを選択する、ことを特徴とする請求項 1 又は 2 に記載のバッチ式熱処理装置。

【請求項 4】前記制御手段は、被処理体に施すべき温度変化を示すレシピを記憶するレシピ記憶手段を備え、前記被処理体の温度が前記レシピ記憶手段に記憶されたレシピに従って変化するように、前記モデルに基づいて、前記被処理対象の温度を推定し、この推定値に従って前記ヒータを制御する、ことを特徴とする請求項 1、2 又は 3 に記載のバッチ式熱処理装置。

【請求項 5】前記レシピ記憶手段は、被処理体の処理枚数及び配置別の複数のレシピを記憶し、前記制御手段は、加熱炉に収容された被処理体の処理枚数及び配置に対応するレシピを選択して、選択したレシピに従って前記ヒータを制御する、ことを特徴とする請求項 4 に記載のバッチ式熱処理装置。

【請求項 6】前記レシピ記憶手段は、前記加熱炉内の、被処理体の配列方向の複数のゾーン別に、修正されたレシピを記憶し、前記制御手段は、各ゾーンのレシピに従って前記ヒータを制御する、ことを特徴とする請求項 5 に記載のバッチ式熱処理装置。

【請求項 7】前記制御手段は、前記モデルを参照して推定したウエハ温度の組と前記複数のゾーンのレシピが指示する温度の組とのばらつきが最小となるように、前記ヒータを制御する、ことを特徴とする請求項 6 に記載のバッチ式熱処理装置。

【請求項 8】複数のヒータと、複数の温度センサとを備え、内部に被処理体を収容する加熱炉を有するバッチ式熱処理装置の制御方法であって、温度センサの出力から被処理体の温度を推定するためのモデルを、被処理体の処理枚数及び配置に応じて複数記

憶し、

収容された被処理体の処理枚数及び配置を特定し、特定した被処理体の処理枚数及び配置に対応するモデルに基づいて、温度センサの出力から被処理体の温度を推定し、推定した温度が目標値に達するように、前記複数のヒータを適応制御する、ことを特徴とするバッチ式熱処理装置の制御方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、半導体ウエハ等の被処理体を多数枚一括して熱処理するバッチ式熱処理装置に関し、特に、収容している半導体ウエハの温度を推定し、推定結果に基づいて、最適な制御を行う適応制御型のバッチ式熱処理装置及びその制御方法に関する。

【0002】

【従来の技術】多数の半導体ウエハに対して成膜処理、酸化処理あるいは拡散処理などの熱処理を一括して行うバッチ式熱処理装置として、横型熱処理装置や縦型熱処理装置が知られており、最近では、大気の巻き込みが少ない等の理由から縦型熱処理装置が主流になりつつある。

【0003】図 5 は、縦型熱処理装置の外観を示す図であり、この装置は、縦型の加熱炉 11 と、ウエハ保持具であるウエハポート 12 とを備えている。加熱炉 11 は、縦型の反応管の周囲にヒータを設けて構成され、ガス供給管 11a 及び排気管 11b が接続されている。

【0004】ウエハポート 12 は、複数の支柱 13 を備え、各支柱 13 に形成された溝にウエハ W の周縁部を支持することにより多数枚のウエハ W が所定のピッチで棚状に保持されるように構成される。ウエハポート 12 は、多数枚のウエハ W を保持した後に、ポートレベータにより加熱炉 11 の下方開口部を通じて加熱炉 11 内に搬入され、ウエハ W に対して所定の熱処理が行われる。

【0005】このような熱処理装置の制御系においては、例えば、成膜すべき薄膜の種類、膜厚などに応じて、処理圧力、処理温度、ガス流量などの処理条件（処理パラメータの目標値）が決められており、これら処理条件を書き込んだレシピが複数用意されている。各オペレータが薄膜の種類及び膜厚に応じたレシピを選択することにより、予め定められた処理条件に基づいて熱処理装置が運転される。このようなレシピでは、実際にウエハポート 12 にウエハ W を満載して熱処理を行い、最適な処理条件を見つける事により作成される。

【0006】最近にあっては、多種多様な半導体デバイスが要求されることから、小ロットで多品種のウエハに対して熱処理が必要とされる場合がある。例えば、製品ウエハとしてフル枚数（満載時枚数）である 150 枚の処理が必要な時には、ウエハポート 12 は満載状態となるが、それよりも少ない枚数、例えば、100 枚、50

枚或いは 25 枚の熱処理が必要な場合もある。このような場合、不足枚数だけ、ダミーウエハを用いてウエハポート 12 を満載状態とし、ウエハ満載時の通常の処理条件で熱処理を行うようにしていた。

【0007】しかし、ダミーウエハはコストが高く、複数回の処理毎に洗浄されて繰り返し使用されるが、最終的には廃棄され、このためランニングコストを高騰させる要因になっていた。また、製品ウエハの枚数が少ないにもかかわらず、ダミーウエハの移載に時間を要し、スループットの点でも無駄があった。また、パッチサイズが小さい場合（製品ウエハがフル枚数より少ない場合）、ダミーウエハを用いずに処理を行うとウエハポート 12 内にウエハ未載置の空領域ができる。この場合には、部分的にウエハ温度やガス濃度が乱れたりして、熱処理のウエハ面内均一性、面間均一性及び処理速度が変わって熱処理の再現性が低下してしまう。

【0008】また、一般に、パッチ式の熱処理装置は、多数のウエハを一括して処理するため、微妙な制御ができず、ウエハの面間、面内でばらつきが発生する場合があった。

【0009】

【発明が解決しようとする課題】本発明は、このような事情の下に成されたものであり、保持具に被処理体を保持しない空き領域があっても良好な処理を行うことができるパッチ式熱処理装置及びその制御方法を提供することを目的とする。また、本発明は、多品種少量生産に適したパッチ式熱処理装置及びその制御方法を提供することを目的とする。また、本発明は、パッチ式でありながら、個々のウエハを適切に処理できるパッチ式熱処理装置及びその制御方法を提供することを目的とする。

【0010】

【課題を解決するための手段】上記目的を達成するため、この発明の第 1 の観点に係るパッチ式熱処理装置は、複数のヒータと、複数の温度センサとを備え、内部に被処理体を収容する加熱炉と、前記温度センサの出力から、前記加熱炉内の被処理体の温度を推定するためのモデルを、被処理体の枚数及び配置に応じて、複数記憶するモデル記憶手段と、前記モデル記憶手段に記憶されている複数のモデルのうち、前記加熱炉内に収容されている被処理体の枚数及び配置に対応するモデルに基づいて、前記温度センサの出力から前記被処理体の温度を推定し、この推定に従って、前記複数の加熱炉のヒータを独立して制御する制御手段と、を備える、ことを特徴とする。

【0011】この構成によれば、モデル記憶手段に、被処理体の処理枚数と配置に応じたモデルが記憶されている。温度センサの出力とこのモデルとにより、被処理体の温度を推測することができる。すなわち、間接的に、被処理体の温度を測定することができる。そして、推定した温度に従って、ヒータを制御することにより、各ウ

エハが適切な温度変化を行うように、加熱・冷却することができる。従って、被処理体の枚数や配置にかかわらず、被処理体を適切に加熱処理することができる。

【0012】例えば、前記モデルは、推定した被処理体の温度を目標値に近づけるために、ヒータを制御するためのモデルを含んでいてもよい。

【0013】前記モデルは、温度帯域毎に設定されてもよい。この場合、前記制御手段は、被処理体の温度に応じたモデルを選択して、制御を行う。

10 【0014】前記制御手段は、被処理体に施すべき温度変化を示すレシピを記憶するレシピ記憶手段を備え、前記被処理体の温度が、前記レシピ記憶手段に記憶されたレシピに従って変化するように、前記モデルに基づいて、前記被処理対象の温度を推定し、この推定値に従って、前記ヒータを制御してもよい。

20 【0015】前記レシピ記憶手段も、被処理体の枚数及び配置別の複数のレシピを記憶してもよい。この場合、前記制御手段は、加熱炉に収容された被処理体の枚数及び配置に対応するレシピを選択して、選択したレシピに従って、前記ヒータを制御する。

【0016】前記レシピ記憶手段は、前記加熱炉内の、縦方向の複数のゾーン別に、面間の膜厚が均一になるように修正されたレシピを記憶し、前記制御手段は、各ゾーンのレシピに従って、前記ヒータを制御するようにしてもよい。

【0017】前記制御手段は、例えば、前記モデルを参照して推定したウエハ温度の組と前記複数のゾーンのレシピが指示する温度の組とのばらつきが最小となるように、前記ヒータを制御する。

30 【0018】また、この発明の第 2 の観点にかかるパッチ式熱処理装置の制御方法は、複数のヒータと、複数の温度センサとを備え、内部に被処理体を収容する加熱炉を有するパッチ式熱処理装置の制御方法であって、温度センサの出力から被処理体の温度を推定するための数学モデルを、被処理体の枚数及び配置に応じて、複数記憶し、収容された被処理体の枚数及び配置を特定し、特定した被処理体の枚数及び配置に対応するモデルを用いて、温度センサの出力から被処理体の温度を推定し、推定した温度が目標値に達するように、前記複数のヒータを適応制御する、ことを特徴とする。

40 【0019】なお、上述のパッチ式熱処理装置の制御方法を実行するための数学モデルやプログラムを ROM、フラッシュメモリなどに記録して、パッチ式熱処理装置に装着したり配布したりしてもよい。

【0020】

【発明の実施の形態】本発明のパッチ式熱処理装置を縦型熱処理装置に適用した実施の形態について説明する。この縦型熱処理装置は、図 1 に示すように、例えば、石英で作られた内管 2 a 及び外管 2 b よりなる二重管構造の反応管 2 を備え、反応管 2 の下側には金属性の筒状の

マニホールド21が設けられている。内管2aは上端が開口されており、マニホールド21に支持されている。外管2bは有天井に形成され、下端がマニホールド21の上端に気密に接合されている。

【0021】反応管2内には、多数枚、例えば、150枚の被処理体を成すウエハW（製品ウエハ）が水平な状態で、上下に間隔をおいてウエハ保持具であるウエハポート23に棚状に配置されている。このウエハポート23は蓋体24の上に保温筒（断熱体）25を介して保持されている。

【0022】反応管2の周囲には、例えば、抵抗体より成るヒータ3が設けられている。ヒータ3は、5段に配置されたヒータ31～35から構成される。ヒータ31～35には、電力コントローラ36～40より、それぞれ独立して電力が供給される。反応管2、マニホールド21、ヒータ3により加熱炉が構成される。

【0023】また、マニホールド21には、内管2a内にガスを供給するように複数のガス供給管が設けられており、図1では、理解を容易にするため、3本のガス供給管41、42、43を示している。各ガス供給管41、42、43には、ガス流量を調整するためのマスフローコントローラ（MFC）などの流量調整部44、45、46を介してジクロルシラン、アンモニア、窒素がそれぞれ供給される。さらにマニホールド21には、内管2aと外管2bとの隙間から排気するように排気管27が接続されている。この排気管27は、図示しない真空ポンプに接続されている。排気管27には、反応管2内の圧力を調整するための、コンビネーションバルブ、バタフライバルブやバルブ駆動部などを含む圧力調整部28が設けられている。

【0024】内管2aの内面には、垂直方向に一行に5つの熱電対（温度センサ）Sinが配置されている。熱電対Sinは、半導体ウエハWの金属汚染を防止するため、例えば、石英のパイプ等によりカバーされている。

【0025】また、外管2bの外面には、垂直方向に一行に複数の熱電対（温度測定部）Soutが配置されている。

【0026】この縦型熱処理装置は、反応管2内の処理雰囲気温度、ガス流量、圧力といった処理パラメータを制御するための制御部100を備えており、この制御部100は、熱電対SinとSoutの検出信号を取り込み、ヒータ3の電力コントローラ36～40、圧力調整部28、流量調整部44～46に制御信号を出力する。

【0027】図2は、制御部100の構成を示す。図2に示すように、制御部100は、モデル記憶部111と、レシピ記憶部112と、ROM113と、RAM114と、I/Oポート115と、CPU116と、これらを相互に接続するバス117とから構成される。

【0028】モデル記憶部111は、熱電対Sin及びSoutの出力信号（測定温度）からウエハポート23に載

置されているウエハWの温度を推定（計算）し、さらに、推定した温度を目標値に設定するためにヒータ31～35に供給すべき電流を指示するために設計されたモデル（数学モデル；高次・多次元関数）を記憶している。なお、モデルの設計手法については後述する。

【0029】ウエハポート23には、例えば、図3における（a）～（d）に模式的に示すように、全ての棚にウエハWが載置される場合、一部の棚にしかも位置を変えてウエハWが載置される場合がある。さらには、ダミーウエハDWが配置される場合もある。そこで、モデルは、この熱処理装置で処理されるウエハWの枚数及び配置パターン毎にウエハWの温度を正確に推定し、且つ、その温度を目標値に誘導することができるように予め設計され、記憶される。

【0030】例えば、図3における（a）～（d）に示すようにウエハWが配置された場合には、それぞれ、その処理枚数及び配置用に設計されたモデルを使用する事により、温度を正確に推定することができる。

【0031】レシピ記憶部112には、この熱処理装置で実行される成膜処理の種類に応じて、制御手順を定めるレシピが複数種類記憶されている。各レシピは温度レシピを含んでいる。通常のバッチ処理の場合、全ウエハについて1通りの温度レシピが用意される。これに対し、この実施の形態においては、個々の熱処理装置の特性に応じて、面間及び面内で膜厚が均一になるように、図4（a）に示すように、反応管2内をウエハWの配列方向（縦方向）に5つのゾーン（ヒータ31～35によって定義される5つの空間）に分け、（b）に示すように、ゾーン毎に調整された温度レシピ（温度目標軌道）が用意されている。調整された温度レシピは、ガスの流量の差等の要因による膜厚のばらつきを温度制御で吸収できるように調整されている。温度レシピの設計手法については後述する。

【0032】ROM113は、EEPROM、フラッシュメモリ、ハードディスクなどから構成され、CPU116の動作プログラム等を記憶する記録媒体である。RAM114は、CPU116のワークエリアなどとして機能する。I/Oポート115は、熱電対Sin及びSoutの測定信号をCPU116に供給すると共に、CPU116が出力する制御信号を各部へ出力する。また、I/Oポート115には、操作パネル118が接続されている。バス117は、各部の間で情報を伝達する。

【0033】CPU116は、DSPなどでもよく、ROM113に記憶された制御プログラムを実行し、操作パネル118からの指示に従って、レシピ記憶部112に記憶されているレシピに沿って、熱処理装置の動作を制御する。具体的には、CPU116は、操作パネル118から入力されたウエハポート23上のウエハWの処理枚数及び配置に応じて、モデル記憶部111に記憶されている複数のモデルの中から該当するものを選択して

10

20

30

40

50

読み出し、また、レシピ記憶部112に記憶されている複数のレシピの中から該当するものを選択して読み出す。そして、レシピに従って処理動作を実行する。特に、この実施の形態においては、熱電対S_{in}及びS_{out}からの測定値及び電力コントローラ36~40への指示値（又は電力コントローラ36~40がヒータ31~35に供給した電力を示す値）を取り込んで、ウエハの温度を刻一刻と推定し、選択したレシピに含まれている温度レシピが指示する値とこの推定値とが一致するように、電力コントローラ36~40に供給電力を指示する。

【0034】なお、ウエハWの搬送部からの情報により、ウエハWの処理枚数と配置とを把握することも可能である。また、CPU116は、通常の熱処理装置の制御と同様に、流量コントローラ44~46への指示、圧力調整部28への指示なども行う。

【0035】次に、上記構成のバッチ式熱処理装置による成膜処理について説明する。まず、ウエハポート23に、製品ウエハ（処理対象のウエハ）Wが必要枚数載置される。この例では、図3（b）に示すように、100枚のウエハWが下詰めされたとする。このウエハポート23が反応管2内にロードされると、オペレータは、ウエハWの枚数（100）と配置（下詰め）及び処理の内容（窒化膜の形成）を、操作パネル118より入力する。CPU116は、指示に応答し、図3（b）の配置用のモデルとレシピをモデル記憶部111とレシピ記憶部112からそれぞれ読み出す。なお、CPU116は、ウエハWの処理枚数と配置とをウエハ搬送部から取得するようにしてもよい。

【0036】次に、読み出したレシピに従って、ヒータ3に通電して昇温を開始する。さらに、CPU116は、熱電対S_{in}及びS_{out}の出力信号を、読み出したモデルに適用し、上段、中上段、中段、中下段、下段の5つのゾーンのウエハの温度を推定し、推定した温度が全体として温度レシピが設定している温度の組み合わせに最も近づくように、刻一刻とヒータ31~35に供給する電力を電力コントローラ36~40を介して制御する。即ち、推定したウエハ温度に基づいて、ウエハ温度を適応（アダプティブ）制御する。

【0037】例えば、5つのゾーンのウエハの温度がW_{t1}、W_{t2}、W_{t3}、W_{t4}、W_{t5}であると推測（計算）され、レシピが指示する温度がT_{t1}、T_{t2}、T_{t3}、T_{t4}、T_{t5}である場合には、実際の温度（推測温度）と目標温度（レシピ指示温度）との差が全体として最も小さくなるように制御が行われる。例えば、最小2乗法を用いて、 $(W_{t1}-T_{t1})^2 + (W_{t2}-T_{t2})^2 + (W_{t3}-T_{t3})^2 + (W_{t4}-T_{t4})^2 + (W_{t5}-T_{t5})^2$ が最小になるように、ヒータ31~35に供給する電力を個々に制御する。

【0038】表現を変えれば、熱電対S_{in}及びS_{out}の

出力に従って各ウエハWの温度を刻一刻と推測して求め、求めたウエハWの温度が予め定められているレシピが指定する温度となるよう5つのヒータ31~35を個別に適応制御（アダプティブ制御）する。

【0039】昇温が終了すると、各ゾーン（上段、中上段、中段、中下段、下段）の温度をそれぞれ一定に維持するように適応制御を続ける。仮に、図4（b）に示す温度変化が、図3（b）の配置用の温度レシピ（温度軌道）が示す温度の軌道であるとする、CPU116は、上段（ゾーン1）が852℃、中上段（ゾーン2）が850℃、中段（ゾーン3）が849℃、中下段（ゾーン4）が848℃、下段（ゾーン5）が846℃となるように制御する。

【0040】反応管2内の温度が安定するのに十分な時間が経過すると、反応管2に処理ガスを供給し、成膜を開始する。成膜処理の間も、上段、中上段、中段、中下段、下段の各ゾーンのウエハWの温度が全体として温度レシピの設定温度に最も近づくように温度制御を行う。このため、上段、中上段、中段、中下段、下段の各ゾーンのウエハWは、見かけ上、異なる温度で成膜処理が成される。ただし、モデル及びレシピが、後述するように、均一な膜が形成できるように調整された値（成膜ガスの濃度や、ウエハの処理枚数や配置のばらつきの影響などを、熱に換算して調整された値）であるので、面間及び面内で比較的均一な厚さの膜が成長する。

【0041】成膜が終了すると、成膜ガスの供給を停止し、反応管2内を冷却し、処理済のウエハポート23をアンロードする。

【0042】このバッチ式熱処理装置では、制御部100内に、ウエハポート23に載置されるウエハWの処理枚数及び配置に応じたモデルとレシピが予め用意されている。従って、制御部100は、ロードされたウエハポート23に載置されたウエハWの処理枚数及び配置に対応するモデルとレシピを読み出して、適応制御により適切に成膜処理（熱処理）を行うことができる。この適応制御により、ダミーウエハなどを使用しなくても、各ウエハの温度を適切に制御することができる。また、ダミーウエハを使用する場合でも、高価なダミーウエハの使用枚数を従来よりも減らして、かつ、適切な温度制御を行うことができる。従って、ウエハの処理枚数や配置にかかわらず、安定して、一定の厚さの膜を形成することができる。従って、少量生産品にも臨機応変に対応できる。

【0043】また、膜厚が面間及び面内で均一となるように温度レシピがゾーン毎に調整されているので、ガスの流れ、ガス密度の分布、温度勾配等による膜厚の差の発生を抑えることができる。

【0044】図3における（a）、（c）、（d）に示すような処理枚数と配置が選択された場合の動作は、モデル記憶部111及びレシピ記憶部112から読み出さ

れる（選択される）モデル及びレシピが上記説明のものと異なる点以外は、実質的に同一の処理動作が行われる。

【0045】次に、モデルとレシピの設計手法について、説明する。モデルは、熱電対Sin及びSoutの出力（測定値）及びヒータ31～35への供給電力などから、ウエハWの温度を推測し、さらに、推測した5つの温度を全体として目的温度に近接させるために、ヒータ31～35に供給する電力を特定可能な数学モデルであるならば任意のモデル（多変数、多次元、多出力関数）を利用可能である。このようなモデルとしては、例えば、米国特許第5,517,594号公報に開示されたモデルを使用することができる。

【0046】以下、米国特許第5,517,594号公報に開示されたモデルを例に説明する。まず、図1に示す熱処理装置に、中心と中心から例えば6mm離れた位置とに熱電対SwcとSweを組み込んだ5枚のテスト用ウエハを用意する。次に、これらの5枚のテスト用ウエハが、図4（b）の5つのゾーンに1つずつ位置するように、テスト用ウエハと通常のウエハとをウエハポート23に載置する。次に、このウエハポート23を反応管2にロードする。次に、ヒータ31～35に高周波帯域の信号及び低周波帯域の信号を印加し、熱電対Sin、Soutの出力、テスト用ウエハ上の熱電対SwcとSweの出力（ウエハ温度）、ヒータに供給される電流などのデータを、例えば、1～5秒のサンプリング周期で取得する。

【0047】次に、一定の温度範囲、例えば400℃～1100℃の範囲で、100℃間隔で温度帯域を設定する（広温度帯域を1つのモデルでカバーすると温度の推定などが不正確になってしまうため）。取得したデータから、各温度帯域について、数式1に示すARX（自動回帰）モデルを設定する。

【0048】

【数1】 $y_t + AA_1 y_{t-1} + AA_2 y_{t-2} + \dots + AA_n y_{t-n} = BB_1 u_{t-1} + BB_2 u_{t-2} + \dots + BB_m u_{t-m} + e_t$

y_t ：時点tでの以下の内容を成分とするp行1列のベクトル

内容：熱電対Sinの出力の変動量（この例では5つの熱電対Sinが存在するため、5成分）、熱電対Soutの出力の変動量（この例では5つの熱電対Soutが存在するため、5成分）、ウエハの中心部にセットした熱電対Swcの出力の変動量（この例では5つ）、ウエハの周縁部にセットした熱電対Sweの出力の変動量（この例では5つ）。従って、この例では、 y_t は20行1列のベクトルとなる。

u_t ：時点tでのヒータ電力の変動量を成分とするm行1列のベクトル（この例では、ヒータが5台のため、5行1列）。

e_t ：ホワイトノイズを成分とするm行1列のベクトル。

ル。

n：遅れ（例えば8）。

$AA_1 \sim AA_n$ ：p行p列の行列（この例では、20行20列）。

$BB_1 \sim BB_m$ ：p行m列の行列（この例では、20行5列）。

【0049】ここで、各係数 $AA_1 \sim AA_n$ と $BB_1 \sim BB_m$ を、最小二乗法などを用いて決定する。

【0050】このARXモデル関係を、状態空間法に適用すると、その基本方程式は数式2で表すようになる。

【数2】 $x_{t+1} = Ax_t + Bu_t + K_r e_t$

$y_t = Cx_{t+1} + e_t$

ここで、xは状態変数、Kはカルマンフィルタのフィードバック系A、B、Cは、行列である。

【0051】実際の成膜時の処理速度を向上するため、次数を10次程度まで低次元化し、数式2から温度帯域毎に数式モデルを作成する。

【0052】こうして、温度帯域毎に、入力（Sin及びSout、及びヒータ電力P）からウエハの温度を導く数式3を導く。

【数3】 $\hat{x}_{t+1} = A\hat{x}_t + B(P_{input,t} + u_{bias}) + L(T_{thermocouple,t} - C_s \hat{x}_t + S_{bias})$

$T_{model,t} = C_w \hat{x}_t + W_{bias}$

【0053】次に、再度、テスト用ウエハを処理し、数式3に基づいて推定されたウエハ温度 T_{model} と実測値 T_{wafer} とを比較し、モデルをチューニングする。このチューニング動作を必要に応じて複数回繰り返す。

【0054】一方、CPU116の動作プログラムに関しては、温度の設定値から推測したウエハ温度の変動の時間平均を最小化するように動作を設定する。

【0055】さらに、成膜処理の種類に応じて、各ゾーン内で均一な成膜が可能となるような温度目標軌道 $T_{traj}(t)$ 、すなわち、温度レシピを設計する。続いて、5つのゾーンが全てこの温度目標軌道を追従するように制御を行ってテスト的に成膜処理を実行する。処理後、成膜された膜の厚さを測定し、膜厚のばらつき等をチェックする。例えば、上段のウエハの膜厚が下段のウエハの膜厚よりも小さい場合、直接的な原因は不明でも、上段の温度を相対的に上昇させることにより、膜厚をほぼ等しくすることができる。そこで、最小二乗法等を用いて、ばらつきが最も小さくなるように、温度目標軌道 $T_{traj}(t)$ を修正する。これが、図4（b）に示すようなゾーン毎の温度レシピである。この温度レシピをさらにチューニングすることも可能である。

【0056】このようにして、ウエハの処理枚数及びその配置に応じて、ウエハの温度推定及びウエハ温度を目標温度とするための出力を定義するモデルと、レシピがそれぞれ設定され、モデル記憶部111とレシピ記憶部112に記憶される。

【0057】その後、実際の成膜時に、これらのモデル

及びレシピは適宜選択されまた読み出されて制御に使用される。

【0058】以上、この発明の実施の形態に係るバッチ式の熱処理装置及びその適応制御方法、さらに、制御に使用するモデル及びレシピの設計手法を説明したが、この発明は上記実施の形態に限定されず種々の変形及び応用が可能である。例えば、上記実施の形態では、窒化膜形成用の熱CVD装置を例にこの発明を説明したが、処理の種類は任意であり、他種類の膜を形成するCVD装置、酸化装置、エッチング装置、等の様々なバッチ式熱

処理装置に適用可能である。ただし、種類毎に、モデルとレシピを設計する。

【0059】また、機器構成や動作も上記実施の形態に限定されない。例えば、上記実施の形態では、ヒータの数を5つとし、反応管2内のゾーンを5つとしたが、ヒータの数と温度ゾーンの数とは任意である。また、ヒータは、電気抵抗型のものに限定されず、ランプなどでもよい。また、温度を測定するための構成も熱電対に限定されず、任意の温度センサを適用可能である。

【0060】また、モデルやその設計手法も、米国特許5,517,594に開示されたモデルやその設計手法に限定されるものではなく、任意のモデル及び任意の設計手法を採用可能である。また、全ての装置について、モデルを個々に設計するのは煩雑であり、同一仕様の熱処理装置について1つのモデル及び／又はレシピを作成し、これを装置毎に最適化処理することにより、モデル及びレシピを共通化してもよい。この方法によれば、モデルの作成とチューニングを効率よく行うことができ *

＊る。

【0061】

【発明の効果】以上説明したように、この発明によれば、バッチ式の熱処理装置において、加熱炉内に処理枚数や配置が異なる被処理体が収容された場合でも、適切に処理を行うことが可能である。

【図面の簡単な説明】

【図1】この発明の実施の形態に係る熱処理装置の構造を示す図である。

【図2】制御部の構成例を示す回路図である。

【図3】(a)～(d)は、ウエハポートへのウエハの配置例を示す図である。

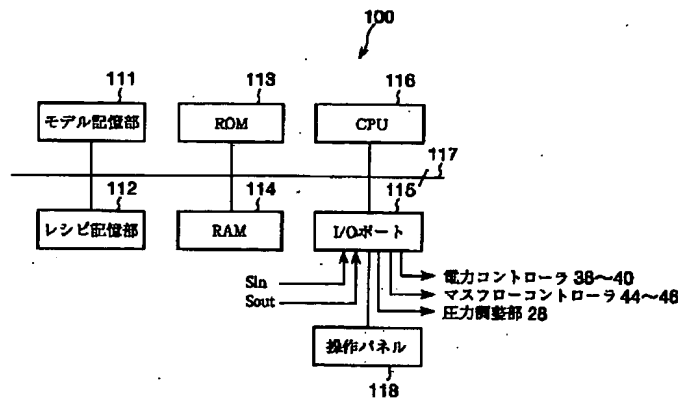
【図4】(a)は反応管内のゾーンを示し、(b)はゾーン別の目標温度軌道の例を示す図である。

【図5】従来の熱処理装置の構成図である。

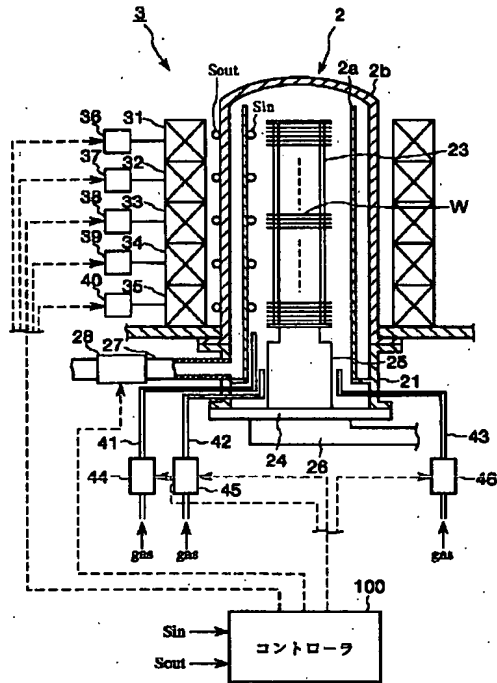
【符号の説明】

- | | |
|-------|----------|
| 2 | 反応管 |
| 3 | ヒータ |
| 21 | マニホールド |
| 23 | ウエハポート |
| 24 | 蓋体 |
| 25 | 保温筒(断熱体) |
| 31 | 上段ヒータ |
| 32 | 上中段ヒータ |
| 33 | 中段ヒータ |
| 34 | 下中段ヒータ |
| 35 | 下段ヒータ |
| 36～40 | 電力コントローラ |

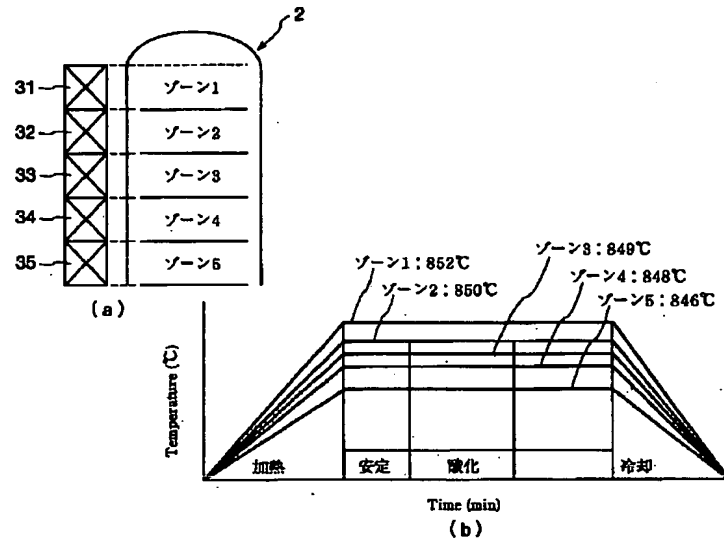
【図2】



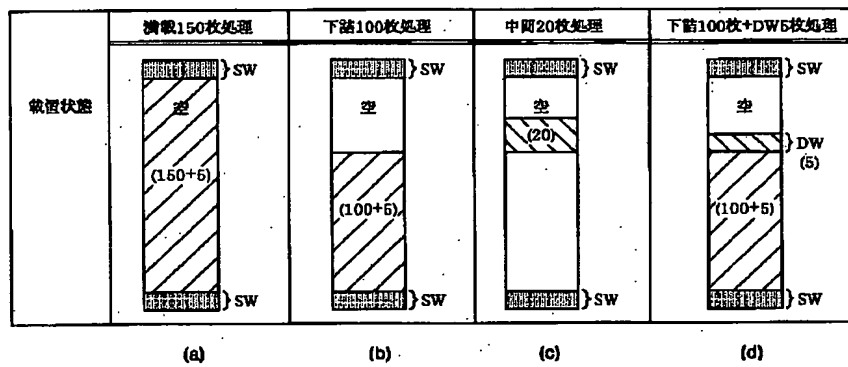
【図1】



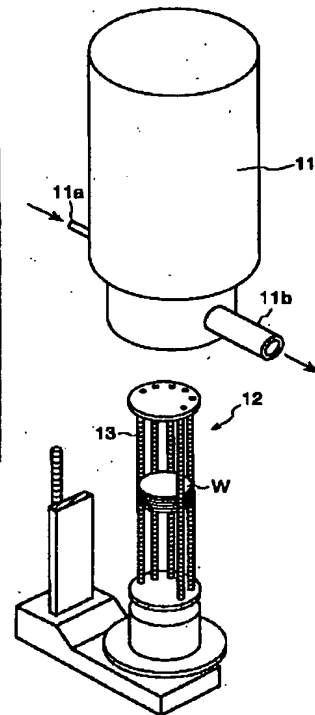
【図4】



【図3】



【図5】



フロントページの続き

(51)Int.Cl.	識別記号	F I	テーマコード(参考)
H 0 1 L 21/205		H 0 1 L 21/205	5 F 0 5 8
21/22	5 1 1	21/22	5 1 1 A
21/316		21/316	S
(72)発明者 坂本 浩一		F ターム(参考)	4K029 BD01 DA08 EA08
神奈川県津久井郡城山町1丁目2番41号			4K030 CA04 CA12 HA13 JA10 KA23
東京エレクトロン東北株式会社相模事業所			KA39 KA41
内			4K056 AA09 BA01 BB06 CA18 FA04
(72)発明者 安原 もゆる			4K061 AA01 BA11 CA08 DA05 GA02
東京都港区赤坂五丁目3番6号 東京エ			5F045 AC05 AC12 AC15 BB02 BB03
レクトロン株式会社内			BB08 DP19 DQ05 EC02 EF02
			EF08 EK06 EK22 EK27 GB05
			GB16
			5F058 BA20 BC08 BF02 BF24 BF30
			BG03 BG04